

УДК 621.314

В.В. Михайленко, Д.К. Маков, В.А. Святненко, Ю.М. Чуняк

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", Київ

## ВИМІРЮВАННЯ НАПРУГ ТА СТРУМІВ У НАПІВПРОВІДНИКОВОМУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ З ДВАДЦЯТИДВОХЗОННИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ

У статті проведено аналіз електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими комутаторами. Створено математичну модель для аналізу електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах з широтно-імпульсним регулюванням вихідної напруги. Наведено графіки, що відображають електромагнітні процеси у електричних колах.

**Ключові слова:** електромагнітні процеси, вихідні напруга та струм, струм навантаження, метод багатопараметричних модулюючих функцій.

### Вступ

Успіхи у розвитку напівпровідникової техніки дозволяють використовувати в перетворювальних установках ланку високої частоти з частотою переключення вентилів значно більшої від частоти змінної напруги промислової мережі. У роботах [1 – 5] показана доцільність використання структур перетворювачів частоти (ПЧ) з однократною модуляцією. У даній роботі проводиться аналіз напівпровідникового перетворювача (НПП) із широтно-імпульсним регулюванням (ШІР) постійної напруги при двадцятидвохзонному керуванні.

**Метою роботи** є використання методу багатопараметричних функцій з використанням пакету MATHCAD для вимірювання електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими комутаторами.

### Аналіз електромагнітних процесів

Структурна схема НПП показана на рис. 1. На структурній схемі позначено: СМ1 і СМ2 – блоки

силових модуляторів фазних і лінійних напруг відповідно; ВВ1 і ВВ2 – високочастотні випрямлячі фазних і лінійних напруг; СК – система керування і Н – навантаження, яке має активно-індуктивний характер. Кожний з блоків СМ має у своєму складі випрямлячі та інвертори, навантажених на узгоджувальні трансформатори.

Складаючи математичну моделі перетворювача використовуємо метод багатопараметричних модулюючих функцій [2]. При цьому приймемо такі припущення: вхідна енергетична мережа симетрична і її внутрішній опір дорівнює нулю, транзистори і діоди інвертора випрямленої напруги (ІВН) представляються ідеальними ключами, узгоджувальні трансформатори в кожній з зон регулювання вихідної напруги не мають втрат, а навантаження перетворювача має еквівалентний активно-індуктивний характер. Кожен СМ має в своєму складі N інверторів випрямленої напруги (ІВН), де N – це число інверторів.

Алгоритмічне рівняння перетворювача записано у публікації [2]:

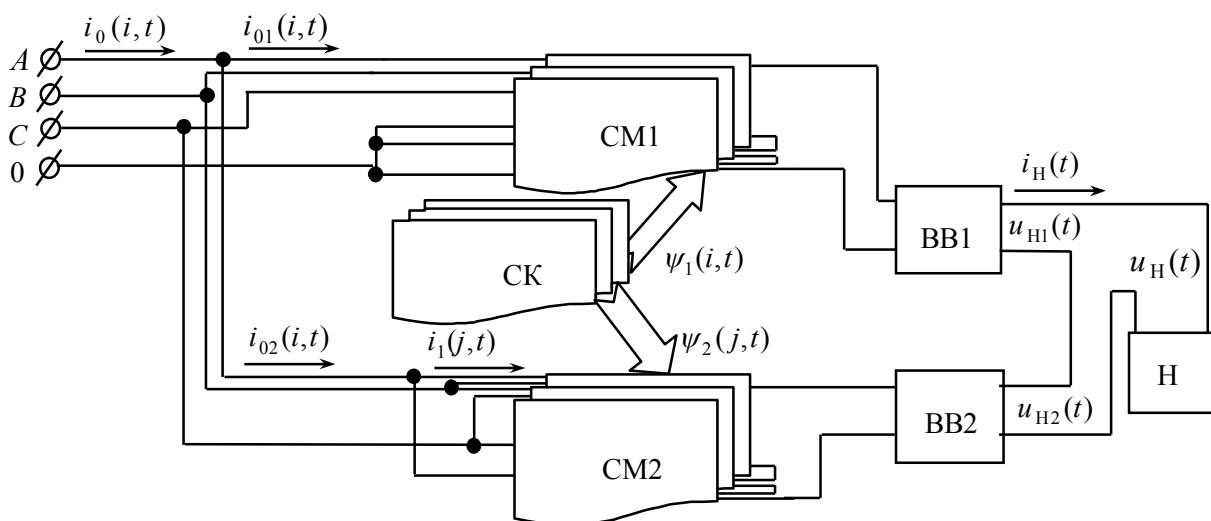


Рис. 1. Структурна схема перетворювача

$$u_H(t) = \frac{1}{k_T} \left( \sum_{n=1}^{N=11} \sum_{i=1}^3 u_{11}(i,t) \phi_1(i,t) \psi_1(i,t) v_1(t) + \sum_{n=1}^{N=11} \sum_{j=1}^3 u_{12}(j,t) \phi_2(j,t) \psi_2(j,t) v_2(t) \right), \quad (1)$$

де  $i = 1, 2, 3$  та  $j = 1, 2, 3$  – номери фазних і лінійних напруг енергетичної мережі відповідно;

$k_T$  – коефіцієнт трансформації;

$\psi_{B1}(i,t)$  і  $\psi_{B2}(j,t)$  – модулюючі функції, які співпадають за часом з фазними і лінійними напругами;

$u_{11}(i,t)$  і  $u_{12}(j,t)$  – миттєві значення лінійних напруг;

$v_1(t)$  і  $v_2(t)$  – еквівалентні модулюючі впливи ВВ1 і ВВ2.;

$n = 1, 2, 3, \dots, N$  – номери зон регулювання вихідної напруги;  $N$  – кількість ІВН в кожному СМ;

$$\psi_{B1}(i,t) = \text{sign} \left[ \sin \left( \omega_1 t - \varphi - \frac{(i-1)2\pi}{3} \right) \right] - \text{модулюючі функції, які співпадають за часом з положенням відповідних фазних напруг мережі живлення};$$

модулюючі функції, які співпадають за часом з положенням відповідних фазних напруг мережі живлення;

$$\psi_{B2}(j,t) = \text{sign} \left[ \sin \left( \omega_1 t - \varphi + \frac{\pi}{6} - \frac{(j-1)2\pi}{3} \right) \right] - \text{модулюючі функції, які співпадають за часом з положенням відповідних лінійних напруг мережі живлення};$$

модулюючі функції, які співпадають за часом з положенням відповідних лінійних напруг мережі живлення;

$$u_{01}(i,t) = E_m \sin \left( \omega_1 t - \varphi - \frac{(i-1)2\pi}{3} \right) - \text{миттєві значення вхідних фазних напруг мережі живлення};$$

тєві значення вхідних фазних напруг мережі живлення,

$$u_{02}(j,t) = E_m \sin \left( \omega_1 t - \varphi + \frac{\pi}{6} - \frac{(j-1)2\pi}{3} \right) - \text{миттєві значення вхідних фазних напруг мережі живлення};$$

миттєві значення вхідних фазних напруг мережі живлення,

$E_m$  – амплітудне значення фазної напруги;

$\omega_1 = 2\pi f_1$  і  $\varphi$  – відповідно кругова частота і початкова фаза напруги живлення;

$\psi_1(i,t)$  – множина еквівалентних модулюючих впливів  $j$ -х СМ,

$\psi_2(j,t)$  – множина еквівалентних модулюючих впливів  $j$ -х СМ.

Струм на навантаженні перетворювача знайдемо, як реакцію одноконтурного RL-ланцюга на дію напруги  $u_H(t)$ :

$$i_H(t)R + L \frac{di_H(t)}{dt} = u_H(t), \quad (2)$$

де  $R$  та  $L$  – відповідно активний опір і індуктивність навантаження.

Рішення (2) відносно струму навантаження визначимо числовим методом за допомогою функції `odesolve` математичного процесора MATHCAD

$$i_H(t) = \text{odesolve}(t, k, p), \quad (3)$$

де  $t$  – час;

$k$  – часовий інтервал;

$p$  – кількість точок на часовому інтервалі.

Діаграми струму навантаження в координатах вихідної напруги перетворювача, побудовані за (3) для двадцятидвохзонного регулювання представлені на рис. 2.

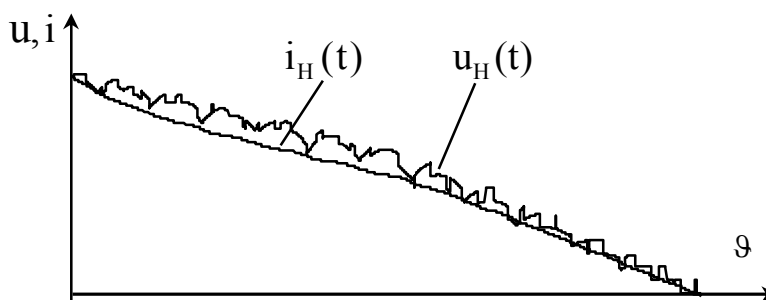


Рис. 2. Діаграми струму та напруги навантаження

Фазні струми  $i_{01}(i,t)$  знаходимо з такого виразу:

$$i_{01}(i,t) = \frac{\sum_{n=1}^{N=11} i_H(t) \psi_{B1}(i,t) \psi_1(i,t) v_1(t)}{k_T}. \quad (4)$$

Лінійні струми  $i_{12}(j,t)$  знаходимо з такого виразу:

$$i_{12}(j,t) = \frac{\sum_{n=1}^{N=11} i_H(t) \psi_{B2}(j,t) \psi_2(j,t) v_2(t)}{k_T}. \quad (5)$$

Фазні струми  $i_{02}(i,t)$  знаходимо з таких співвідношень

$$i_{02}(1,t) = i_{12}(1,t) - i_{12}(3,t),$$

$$i_{02}(2, t) = i_{12}(2, t) - i_{12}(1, t), \quad (6)$$

$$i_{02}(3, t) = i_{12}(3, t) - i_{12}(2, t).$$

Вхідні фазні струми енергетичної мережі у кожній  $i$ -й фазі знаходимо з виразу:

$$i_0(i, t) = i_{01}(i, t) + i_{02}(i, t). \quad (7)$$

Діаграми вхідних струмів  $i$ -х фаз енергетичної мережі в координатах фазних напруг, побудовані за (7), представлені на рис. 3.

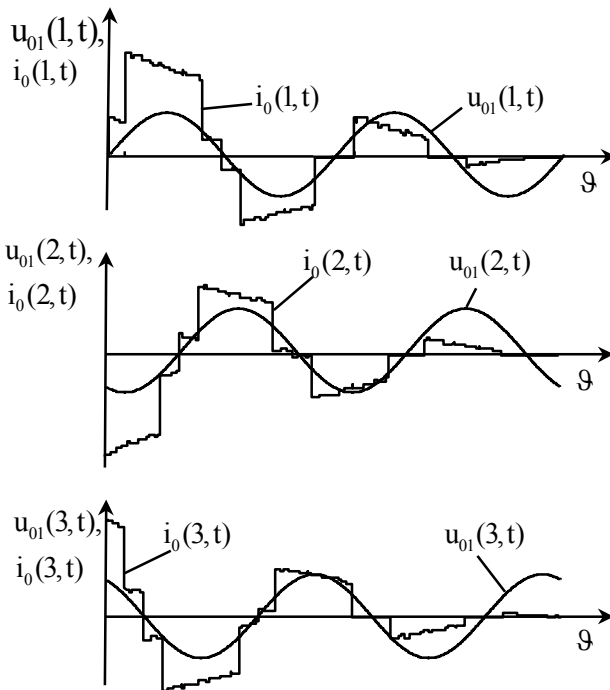


Рис. 3. Діаграми вхідних струмів  $i$ -х фаз мережі в координатах фазних напруг

Проводячи аналіз діаграм вхідних струмів  $i$ -х фаз енергетичної мережі на рис. 3, робимо висновок, що ці струми змінюються за синусоїдним законом з накладанням високочастотних пульсацій.

## Висновки

У статті було виконано аналізу електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими комутаторами. Використовуючи метод багатопараметричних модулюючих функцій було знайдено струм і напругу навантаження, а також вхідні струми перетворювача. Узагальнюючі функції багатопараметричного виду ефективні і для інших перетворювачів модуляційного типу.

## Список літератури

1. Макаренко М.П. Системний аналіз електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах електроенергії модуляційного типу / М.П. Макаренко, В.І. Сенько, М.М. Юрченко. – К. : НАН України, ІЕД, 2005. – 241 с.
2. Макаренко М.П. Аналіз електромагнітних процесів у перетворювачах з багатозонним регулюванням вихідної напруги функціями багатопараметричного виду / М.П. Макаренко, В.В. Михайленко // Техн. електродинаміка. Тем. вип. "Силовa електроніка та енергоефективність". – 2002. – Ч. 1. – С. 19-22.
3. Макаренко Н.П. Аналіз електромагнітних процесів в дванадцятизвонному преобразователі з зонним регулюванням вихідного напруги / Н.П. Макаренко, В.В. Михайленко, Н.Н. Юрченко // Вестник НТУ "Харківський політехнічний інститут". "Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика". – 2002. – Т. 1. – С. 233-234.
4. Макаренко М.П. Математична модель перетворювача трифазної напруги в постійну напругу / М.П. Макаренко, В.В. Михайленко // Електроніка і зв'язь. – 2002. – № 14. – С. 73-75.
5. Макаренко М.П. Деякі аспекти комп'ютерного аналізу напівпровідникових перетворювачів електроенергії з багаторозгалуженими структурами / М.П. Макаренко, В.В. Михайленко // Техн. електродинаміка. Тем. вип. "Силовa електроніка та енергоефективність". – 2004. – Ч. 1. – С. 112-115.

Надійшла до редколегії 12.04.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.П. Захаров, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

## ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ТОКОВ В ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ С ДВАДЦАТИДВУХЗОННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

В.В. Михайленко, Д.К. Маков, В.А. Святненко, Ю.М. Чуняк

В статье проведено анализ электромагнитных процессов в электрических цепях с полупроводниковыми коммутаторами. Создана математическая модель для анализа электромагнитных процессов в полупроводниковых преобразователях с широтно-импульсным регулированием выходного напряжения. Приведены графики, что показывают электромагнитные процессы в электрических цепях.

**Ключевые слова:** электромагнитные процессы, выходное напряжение и ток, ток нагрузки, метод многопараметрических модулирующих функций.

## MEASUREMENT OF THE VOLTAGES AND CURRENT IN SEMICONDUCTOR CONVERTER WITH TWENTY-SECOND ZONES REGULATION OF OUTPUT VOLTAGE

V.V. Myhaylenko, D.K. Makov, V.A. Svyatnenko, Yu.M. Chunya

The article analyzes the electromagnetic processes in electric circuit with semiconductor commutator. Mathematical model is created for analysis of the electromagnetic processes in semiconductor converter with width-pulse regulation of the output voltage. The brought graphs that show the electromagnetic processes in electric circuit.

**Keywords:** electromagnetic processes, output voltage and current, current of the load, method of multivariable modulating function.